

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-120709

(43)Date of publication of application : 23.04.2002

(51)Int.Cl.

B60T 8/58  
G01N 19/02  
// G01P 3/50

(21)Application number : 2000-315836

(71)Applicant : TOYOTA CENTRAL RES & DEV LAB  
INC  
TOYOTA MOTOR CORP  
AISIN SEIKI CO LTD  
DENSO CORP

(22)Date of filing : 16.10.2000

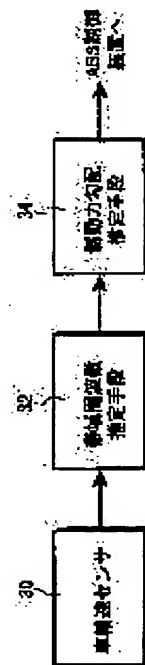
(72)Inventor : ONO HIDEKAZU  
UMENO KOJI  
SUGAI MASARU  
TANAKA AKIRA  
YASUI YOSHIYUKI  
SAWADA MAMORU

## (54) ROAD SURFACE STATE ESTIMATING APPARATUS

### (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To estimate a braking force gradient in a low slipping area including a stationary running range.

SOLUTION: This estimating apparatus includes a wheel speed sensor 30 which detects wheel speed in a predetermined sampling cycle and outputs time series data of wheel speed; a band frequency estimating means 32 which estimates band frequency in a gain diagram when a transfer characteristic from road surface disturbance to the wheel speed is approximate to a primary delay model, based on the time series data of the wheel speed; and a braking force gradient estimating means 34 which estimates a braking force gradient relative to the estimated band frequency, based on a map indicating a relationship between the band frequency stored in advance and the braking force gradient.



BEST AVAILABLE COPY

## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-120709

(P2002-120709A)

(43) 公開日 平成14年4月23日 (2002. 4. 23)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマート* (参考)
B 6 0 T 8/58		B 6 0 T 8/58	H 3 D 0 4 6
G 0 1 N 19/02		G 0 1 N 19/02	B
// G 0 1 P 3/50		G 0 1 P 3/50	Z

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2000-315836(P2000-315836)

(22) 出願日 平成12年10月16日 (2000. 10. 16)

(71) 出願人 000003609

株式会社豊田中央研究所

愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番  
地の1

(71) 出願人 000003207

トヨタ自動車株式会社

愛知県豊田市トヨタ町1番地

(71) 出願人 000000011

アイシン精機株式会社

愛知県刈谷市朝日町2丁目1番地

(74) 代理人 100079049

弁理士 中島 淳 (外1名)

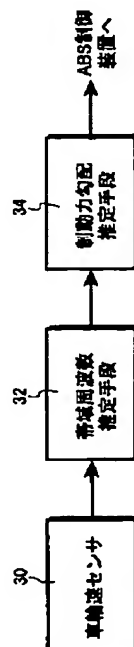
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 路面状態推定装置

(57) 【要約】

【課題】 定常走行領域を含んだ低スリップ領域における制動力勾配を推定する。

【解決手段】 所定のサンプリング周期で車輪速度を検出し、車輪速の時系列データを出力する車輪速センサ30、車輪速の時系列データに基づいて、路面外乱から車輪速までの伝達特性を1次遅れモデルに近似したときのゲイン線図における帯域周波数を推定する帯域周波数推定手段32と、予め記憶された帯域周波数と制動力勾配との関係を表すマップに基づいて、推定された帯域周波数に対する制動力勾配を推定する制動力勾配推定手段34と、を含んで構成されている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】車輪速度を検出し、車輪速信号を出力する車輪速センサと、前記車輪速信号に基づいて路面外乱から車輪速までの伝達特性の追従周波数を表す車輪速周波数特性量を推定する車輪速周波数特性量推定手段と、推定された車輪速周波数特性量から路面状態を表す物理量を推定する物理量推定手段と、を含む路面状態推定装置。

【請求項 2】車輪速度を検出し、車輪速信号を出力する車輪速センサと、路面外乱から車輪速までの伝達特性の周波数応答を表すゲイン線図の低周波数領域における特性量と高周波数領域における特性量との差を車輪速周波数特性量として、前記車輪速信号に基づいて前記車輪速周波数特性量を推定する車輪速周波数特性量推定手段と、推定された車輪速周波数特性量から路面状態を表す物理量を推定する物理量推定手段と、を含む路面状態推定装置。

【請求項 3】車輪速度を検出し、車輪速信号を出力する車輪速センサと、路面外乱から車輪速までの伝達特性を低次元のモデルに近似したときの該モデルの周波数応答を表すゲイン線図において、ゲインが所定範囲の値から所定範囲外の値に変化するときの周波数を車輪速周波数特性量として、前記車輪速信号に基づいて前記車輪速周波数特性量を推定する車輪速周波数特性量推定手段と、推定された車輪速周波数特性量から路面状態を表す物理\*

$$\ddot{v}_w = -\frac{k R_c^2}{J} v_w + w$$

【0004】ただし、 $v_w$  は車輪速度 (m/s)、 $w$  は路面外乱、 $k$  は制動力勾配 (Ns/m)、 $R_c$  はタイヤ有効半径 (m)、 $J$  は車輪慣性モーメントである。

【0005】しかしながら、制動力勾配の比較的大きな低スリップ領域においては、車輪減速度運動は 15 Hz 付近の共振であるサスペンション前後共振や 40 Hz 付近の共振であるタイヤ回転共振の影響を受けるので、上記 (1) 式に基づいて制動力勾配を推定する上記従来の技術では、低スリップ領域において制動力勾配を正確に推定することができない、という問題がある。

【0006】また、特開平 11-78843 号公報には、タイヤ回転振動のモデルに基づいて制動力勾配を推定する車輪状態推定装置が記載されている。この技術は、制動力勾配が大きい程タイヤ回転振動の共振特性が尖鋭になることに着目し、タイヤ回転振動の減衰係数を同定することによって、制動力勾配を推定している。

【0007】しかしながら、制動力勾配が小さくなる制動時には、車輪減速度運動が支配的になることから、タイヤ回転振動が発生しなくなってしまう。このため、上

\* 量を推定する物理量推定手段と、を含む路面状態推定装置。

【請求項 4】前記低次元のモデルは、1 次遅れモデルである請求項 3 記載の路面状態推定装置。

【請求項 5】前記路面状態を表す物理量は、制動力勾配、駆動力勾配、及び路面  $\mu$  勾配を含む路面の滑り易さを表す物理量である請求項 1～4 のいずれか 1 項記載の路面状態推定装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、路面状態推定装置にかかり、特に、定常走行領域を含んだ低スリップ領域における制動力勾配や駆動力勾配等の路面状態を表す物理量を推定する路面状態推定装置に関する。

【0002】

【従来の技術及び発明が解決しようとする課題】特開 2000-118357 号公報には、車輪速信号から制動トルク勾配 (制動力勾配に車輪有効半径の 2 乗を乗じて求められる) を推定し、推定された制動トルク勾配を 0 付近の目標値に追従制御することにより制動力が最大になるように制御するアンチロックブレーキ装置が記載されている。この装置では、下記の (1) 式で表される車輪減速度運動モデルに基づいて制動トルク勾配を推定しており、車輪減速度運動が支配的となる限界制動領域においては精度良く制動トルク勾配、従って制動力勾配を推定することができる。

【0003】

【数 1】

・・・ (1)

記従来の技術では、タイヤ回転振動が発生しない制動時には、制動力勾配を推定することができない、という問題が発生する。

【0008】本発明は、上記問題点を解消するためになされたもので、定常走行領域を含んだ低スリップ領域における制動力勾配、駆動力勾配、及び路面  $\mu$  勾配等の路面状態を表す物理量を推定する路面状態推定装置を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】まず、請求項 1～5 の発明の原理について説明する。図 1 に示すように、車輪共振系の力学モデルは、リム 10 とベルト 12 との間に各々ばね定数  $K_1$ 、 $K_2$  のタイヤのねじればね要素 14、16 を介在させると共に、リム 10 と車体との間にはね定数  $K_3$  のばね要素 18 とダンバ 20 とを並列接続したサスペンションを介在させたモデルで表される。このモデルにおいて路面からの外乱 (路面外乱) は、ベルト 12 からばね要素 14、16、リム 10 に伝達されて車輪速  $v_w$  に影響を与えると共に、サスペンション要素を介し

て車体に伝達される。

【0010】ここで、1次の車輪減速度運動、2次のサスペンション前後共振、2次のタイヤ回転共振を統合した5次の車輪フルモデルを用いて、制動力勾配と路面外乱から車輪速までの伝達特性の追従周波数を表す車輪速周波数特性量との関係を説明する。この制動力勾配は、図2に示すように、スリップ速度（または、スリップ率）と制動力との関係を表す曲線の接線の勾配（傾き）によって表される。

【0011】図3は、制動力勾配が300Ns/m～10000Ns/mの限界制動領域からタイヤ特性に余裕のある低スリップ領域の範囲における、路面外乱から車輪速までの周波数応答を表すゲイン線図、すなわち周波数と路面外乱の振幅に対する車輪速の振幅ゲインとの関係を示したものである。

【0012】図3において、限界付近等の制動力勾配が比較的小さな領域においては、車輪速の周波数特性は、低周波数領域のゲインは大きく、高周波数領域のゲインは小さくなっている。このため、制動力勾配が比較的小さな領域においては低周波数領域のゲインと高周波数領域のゲインとの差を表す車輪速周波数特性量は大きくなる。

【0013】これに対し、定常走行等の制動力勾配が比較的大きな領域においては、車輪速の周波数特性において低周波数領域のゲインは制動力勾配の比較的小さな領域に比較して小さくなっている。また、高周波数領域のゲインは、タイヤの回転共振（40Hz付近）の発生等の影響によって制動力勾配が比較的小さな領域に比較してそれほど小さくはなっていない。この結果、制動力勾配が比較的大きな領域においては車輪速周波数特性量は小さくなっている。同様に、低周波数領域の車輪速信号の振動レベルと高周波数領域の車輪速信号の振動レベルとの差を表す車輪速周波数特性量も上記の低周波数領域のゲインと高周波数領域のゲインとの差を表す車輪速周波数特性量と同様に変化する。

【0014】以上のことから、低周波数領域のゲインと高周波数領域のゲインとの差、または低周波数領域の車輪速信号の振動レベルと高周波数領域の車輪速信号の振動レベルとの差を表す車輪速周波数特性量は、制動力勾配が大きくなるに伴って小さくなる値であり、この特性を利用することにより車輪周波数特性量から制動力勾配を推定することができる。

【0015】また、図3において、タイヤ回転共振が発生する40Hz付近の周波数帯域に着目した場合、制動力勾配が大きくなるに従ってタイヤ回転共振の共振ピーク波形が尖鋭になっている。また、タイヤ回転共振の共振ピーク波形は、制動力勾配が大きくなるに従って全体的な周波数特性が高周波側に移行している。

【0016】すなわち、この車輪特性を1次遅れモデルで近似した場合、図6に示すように、制動力勾配が大き

くなるに従って周波数帯域が高くなることが理解できる。したがって、車輪特性を1次遅れモデルで近似して、ゲインが所定範囲の値から所定範囲外の値に変化する際の周波数である帯域周波数を車輪速周波数特性量として推定すれば、路面外乱から車輪速までの伝達特性の追従周波数を表す車輪速周波数特性量の値から制動力勾配を推定することができる。なお、2次、3次等の遅れモデルにおいても1次遅れモデルと略同様の特性を備えているので、車輪特性を低次の遅れの特性に近似してその車輪速周波数特性量を推定すれば、車輪速周波数特性量の値から制動力勾配を推定することができる。

【0017】また、上記で説明したタイヤに制動力を与えたときの制動力勾配の他、タイヤに駆動力を与えたときの駆動力勾配は、いずれもタイヤと路面との間の滑り易さを表す物理量であり、タイヤのグリップ状態を表す路面μ勾配と等価な物理量である。したがって、車輪周波数特性量からスリップ率またはスリップ速度と制動力との関係を表す曲線の接線の傾きである制動力勾配、スリップ率またはスリップ速度と駆動力との関係を表す曲線の接線の傾きである駆動力勾配、及びスリップ率またはスリップ速度と路面μとの関係を表す曲線の接線の傾きである路面μ勾配のいずれかを路面の滑りやすさを表す物理量として推定することができる。

【0018】上記目的を達成するために請求項1の発明は、上記原理に基づいて、車輪速度を検出し、車輪速信号を出力する車輪速センサと、路面外乱から車輪速までの伝達特性の追従周波数を表す車輪速周波数特性量を推定する車輪速周波数特性量推定手段と、推定された車輪速周波数特性量から路面状態を表す物理量を推定する物理量推定手段と、を含んで構成したものである。

【0019】請求項2の発明は、車輪速度を検出し、車輪速信号を出力する車輪速センサと、路面外乱から車輪速までの伝達特性の周波数応答を表すゲイン線図の低周波数領域における特性量と高周波数領域における特性量との差を車輪速周波数特性量として、前記車輪速信号に基づいて前記車輪速周波数特性量を推定する車輪速周波数特性量推定手段と、推定された車輪速周波数特性量から路面状態を表す物理量を推定する物理量推定手段と、を含んで構成したものである。

【0020】そして、請求項3の発明は、車輪速度を検出し、車輪速信号を出力する車輪速センサと、前記車輪速信号に基づいて路面外乱から車輪速までの伝達特性の追従周波数を表す車輪速周波数特性量を推定する車輪速周波数特性量推定手段と、推定された車輪速周波数特性量から路面状態を表す物理量を推定する物理量推定手段と、を含んで構成したものである。請求項3の発明の車輪速周波数特性量は、路面外乱から車輪速までの伝達特性を低次元のモデルに近似したときの該モデルの周波数応答を表すゲイン線図において、ゲインが所定範囲の値から所定範囲外の値に変化する際の周波数である帯域

周波数で与えられる。

【0021】上記のゲイン線図は、入力振幅（路面外乱の振幅）に対する出力の振幅（車輪速の時系列データの振幅）の割合で表されるゲインと周波数との関係を表す線図である。車輪速センサは、所定のサンプリング周期で車輪速度を検出し、車輪速の時系列データを出力するセンサを使用することができる。

【0022】請求項3の発明の低次元のモデルは、1次遅れモデル、または2次遅れモデル等を用いることができるが、1次遅れモデルが好ましい。

【0023】上記各発明によれば、制動力勾配が大きくなるに従って、タイヤ回転共振が発生する40Hz付近の周波数帯域の全体的な周波数特性が高周波側に移行することを使用して、路面の滑り易さを表す物理量を路面状態を表す物理量として推定しているため、定常走行領域を含んだ低スリップ領域における路面状態を表す物理量を推定することができる。

【0024】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について説明する。本実施の形態は、路面外乱から車輪速までの伝達特性を1次遅れモデルに近似し、この1次遅れモデルの周波数応答から車輪速の時系列データに基づいて帯域周波数を推定し、推定した帯域周波数から制動力勾配を推定するようにしたものである。

【0025】図4に示すように、本実施の形態は、所定のサンプリング周期で車輪速度を検出し、車輪速の時系列データを車輪速信号として出力する車輪速センサ30と、車輪速の時系列データに基づいて、路面外乱から車輪速までの伝達特性を1次遅れモデルに近似したときの該モデルの周波数応答を表すゲイン線図において、ゲインが一定値から変化するときの周波数を帯域周波数（車輪速周波数特性量）として推定する帯域周波数推定手段32と、予め記憶された帯域周波数と制動力勾配との関係を表すマップに基づいて、推定された帯域周波数に対する制動力勾配を推定する制動力勾配推定手段34と、を含んで構成されている。

【0026】なお、制動力勾配推定手段34は、制動力勾配推定手段34で推定された制動力勾配に基づいてABS制御のための各車輪毎の操作信号を演算するABS制御手段と、ABS制御手段により演算された操作信号に基づいて各車輪毎にブレーキ圧を操作することにより\*

$$\phi[k] = \tau \{ \omega[k-1] - \omega[k-2] \} \quad \dots (2)$$

$$y[k] = -\omega[k] + 2\omega[k-1] - \omega[k-2] \quad \dots (3)$$

【0033】なお、(2)式の $\phi[k]$ は、1サンプル時間での車輪速度の変化量にサンプル時間 $\tau$ を乗算した値（車輪速の変化に関する物理量）であり、(3)式の $y[k]$ は、1サンプル時間の車輪速度の変化量（ $\omega[k-1] - \omega[k-2]$ 、 $\omega[k] - \omega[k-1]$ ）の1サンプル時間での変化量（ $\omega[k-1] - \omega[k-2] - (\omega[k] -$

\*ABS制御を行うABS制御弁とを接続することができる。

【0027】なお、図4では、1つの車輪についての構成を示したが、例えば4輪自動車等の複数の車輪を持つ車両の場合には、各々の車輪について図示した構成が設けられる。

【0028】本実施の形態の帯域周波数推定手段32では、全ての周波数を含む外乱である白色外乱が路面からタイヤに入力したと仮定し、最小自乗法を用いて1次遅れモデルの帯域周波数を同定した。

【0029】図5は、帯域周波数を同定するためのアルゴリズム、図6は、図1の車輪フルモデルに白色外乱を加えたときに図5のアルゴリズムによって同定される帯域周波数と対応する1次遅れモデルのゲイン線図を示したものである。

【0030】まず、図5に基づいて帯域周波数を同定するためのアルゴリズムについて説明する。ステップ100において車輪速センサ30で検出された車輪速度の時系列データに白色外乱を加えたデータを取り込み、ステップ102において2次のバターワースフィルタを用いて、例えば2Hzのハイパスフィルタと例えば20Hzのローパスフィルタからなるフィルタによる前処理を行う。車輪速信号をハイパスフィルタに入力してハイパスフィルタ処理することにより、車輪の加速度の定常成分が除去され、ローパスフィルタ処理することにより車輪速信号の平滑化処理を行うことができる。

【0031】次のステップ104において、オンライン最小自乗法を用いて前処理された車輪速の時系列データから帯域周波数の時系列データを推定する。まず、車輪速度センサ30によって、サンプル時間 $\tau$ 毎に離散化して検出された車輪速の時系列データをステップ102のフィルタによる前処理後の車輪速の時系列データを $\omega[k]$ （ $k$ はサンプル時間 $\tau$ を単位とするサンプル時刻であり、 $k=1, 2, \dots$ ）とし、以下のステップ1及びステップ2を繰り返すことにより、検出された車輪速度の時系列データから制動力勾配の時系列データを推定する。

ステップ1:

【0032】

【数2】

$\omega[k-1]$ ）（車輪速度の変化の変化に関する物理量）である。

ステップ2:

【0034】

【数3】

$$\theta[k] = \theta[k-1] + L[k] (y[k] - \phi[k]^T \theta[k-1]) \quad \dots (4)$$

ただし、

$$L[k] = \frac{P[k-1] \phi[k]}{\lambda + \phi[k]^T P[k-1] \phi[k]} \quad \dots (5)$$

$$P[k] = \frac{1}{\lambda} [P[k-1] - \frac{P[k-1] \phi[k] \phi[k]^T P[k-1]}{\lambda + \phi[k]^T P[k-1] \phi[k]}] \quad \dots (6)$$

【0035】という漸化式から推定値 $\theta$ 、すなわち、制動力勾配を推定する。ただし、(5)、(6)式の $\lambda$ は過去のデータを取り除く度合いを示す忘却係数(例えば $\lambda = 0.98$ )であり、 $T$ は行列の転置を示す。

【0036】なお、(4)式の $\theta[k]$ は、車輪速度の変化に関する物理量の履歴及び車輪速度の変化の変化に関する物理量の履歴を表す物理量である。

【0037】なお、上記ではオンライン最小自乗法を用いて帯域周波数を推定する例について説明したが、補助変数法等他のオンライン同定法を用いて帯域周波数を推定することもできる。

【0038】上記のようにして推定された1次遅れモデルにおける帯域周波数の推定結果の例を図6に示す。また、図6のゲイン線図より理解されるように、近似された1次遅れモデルのゲインは、制動力勾配が300Ns/m以外では、車輪フルモデルのゲイン線図の定常ゲイ

※ンと反共振点(40Hz付近)におけるゲインを通過する特性として同定されており、低次元化により15Hz付近のサスペンション前後共振と40Hz付近のタイヤ回転振動の共振特性とが無視されている。また、制動力勾配が300Ns/mと小さいときには、1次遅れモデルでは反共振点を通過していないことから共振は表れず、1次遅れモデルの振動特性と車輪フルモデルの特性とが良く一致していることが理解できる。これは、制動力勾配が300Ns/m以下の限界付近の制動領域においては、サスペンション前後共振やタイヤ回転振動による共振の影響が小さく、車輪減速度運動モデルが支配的になっているためである。したがって、このような限界付近では、車輪運動は以下の車輪減速度運動モデルで近似できると考えられる。

【0039】

【数4】

$\dots (7)$

$$\ddot{v}_w = -\frac{k R_c^2}{J} v_w + w$$

【0040】ただし、 $v_w$ は車輪速度(m/s)、 $w$ は路面外乱、 $k$ は制動力勾配(Ns/m)、 $R_c$ はタイヤ有効半径(m)、 $J$ は車両慣性モーメントであり、 $v_w$ の1階微分の係数は帯域周波数を表している。

※【0041】ところで、上記(7)式は、限界領域において、帯域周波数 $\omega_0$ と制動力勾配との間に、

【0042】

※30 【数5】

$\dots (8)$

$$\omega_0 = \frac{k R_c^2}{J}$$

【0043】という関係があることを示している。

【0044】また、低スリップ領域においては、最小自乗法の適用により図7の関係が導き出せる。この図は、車輪フルモデルにおける制動力勾配と白色外乱を加えたときの車輪速データから同定された帯域周波数との関係を示したものである。なお、図7の帯域周波数は、単位を[rad/s]で表した。制動力勾配は、帯域周波数が増加するに従って単調増加している。この図7の帯域周波数と制動力勾配との関係をマップとして制動力勾配推定手段34のメモリに記憶しておき、マップを用いて車輪速信号に基づいて帯域周波数推定手段32で推定された帯域周波数に対応する制動力勾配を演算することにより、帯域周波数の推定(同定)結果から制動力勾配を推定することが可能になる。

【0045】なお、特開2000-118357号公報に記載の従来技術と本実施の形態とを比較すると、従来技術は上記(8)式の関係を利用して制動力勾配を推定

するものであり、本実施の形態は定常状態を含んだ低スリップ領域に拡張して制動力勾配を推定するものである。

実験結果との比較

ホイール圧一定の条件で制動を行ったときのスリップ率と、本実施の形態により推定された制動力勾配(スリップ率に関する勾配に変換して表示)との関係が、真値とどの程度一致しているかを以下に示す。なお、真値は、ホイール圧をランブ的に上昇させたときのスリップ率と制動力との関係を次に示す荷重移動を考慮したブラッシュモデルによって近似して、この近似モデルから制動力勾配を演算して求めたものである。

【0046】まず、荷重移動を考慮したブラッシュモデルについて説明する。

【0047】図8に示すように、タイヤ変位 $\Delta R$ が荷重 $N$ に比例する( $\Delta R = k_s N$ )と仮定した場合、ブレーキスティフネス $K_s$ は以下の式に示すように荷重 $N$ に

比例する。

$$K_s = k_{s0} N \quad \dots (9)$$

この場合、制動力 $F_x$ と横力 $F_y$ は次のように記述される。

$$\begin{aligned} F_x &= \mu N \cos(1 - \xi_s^2) \\ F_y &= \mu N \sin(1 - \xi_s^2) \end{aligned} \quad \dots (10)$$

ただし、合成スリップを $\kappa$ とすると、

$$\xi_s = 1 - \kappa k_{s0} / 3 \mu \quad \dots (11)$$

である。ここで、 $\mu$ は路面の摩擦係数である。また、前後スリップを $\kappa_x$ 、横スリップを $\kappa_y$ 、すべりの方向を $\tan \theta$ とすると、これらの関係は以下になる。

$$[\text{0050}] \quad \kappa = \sqrt{(\kappa_x^2 + \kappa_y^2)}$$

$$\kappa_x = (u - R\omega) / R\omega$$

$$\kappa_y = K\beta v / K_s R \omega$$

$$\star \tan \theta = \kappa_x / \kappa_y$$

ただし、 $R$ はタイヤの有効半径、 $\omega$ は車輪角速度、 $u$ は前後速度、 $v$ は横速度を表している。また、荷重 $N$ を前後力 $F_x$ に比例して増加する、すなわち、 $N = N_0 + k_x F_x$ と仮定すると、制動力及び横力は以下のように表すことができる。

$$F_x = \mu N_0 \cos(1 - \xi_s^2) / (1 - \mu k_x \cos(1 - \xi_s^2)) \quad \dots (12)$$

$$F_y = \mu N_0 \sin(1 - \xi_s^2) / (1 - \mu k_x \cos(1 - \xi_s^2)) \quad \dots (13)$$

図9、図10は、寒冷地用のスタッドレスタイヤを用い、圧雪路と氷盤路においてホイール圧一定の条件で制動を行った時のスリップ率と推定された制動力及び制動力勾配（スリップ率に関する勾配に変換して表示）の関係を示したものである。ここで、スリップ率、制動力、及び制動力勾配推定値のいずれも制動開始から5秒間の平均値を示している。なお、破線で示す真値は、ホイール圧をランブ的に上昇させたときのスリップ率と制動力との関係を（12）式の荷重平均を考慮したブラッシュモデルによって近似し、この近似モデルから制動力勾配を演算したものである。

【0051】制動力勾配は、車輪速度から帯域周波数を同定し、同定された値から図7のマップを用いて制動力勾配（制動力のスリップ速度に対する勾配）を求め、更に車輪速度を乗じて制動力のスリップ率に対する勾配として示したものである。

【0052】本実施の形態によって推定された制動力勾配の推定値は、制動力勾配の小さな限界制動領域から制動力勾配の比較的大きな原点付近の低スリップ領域までブラッシュモデルから導出された制動力勾配と比較的良好一致が見られていることが分かる。

【0053】次に、第2の実施の形態について説明する。本実施の形態は、低周波数領域の振動レベルと高周波数領域の振動レベルとの差を車輪速周波数特性量として用い、路面 $\mu$ 勾配を推定するようにしたものである。

【0054】本実施の形態の車輪速周波数特性量推定手段は、図11に示すように、低周波数領域の車輪速信号を抽出するためのバンドパスフィルタ40A、及びフィルタ処理後の車輪速信号から振動レベルと演算する第1の振動レベル演算手段42Aからなる低周波数特性量演算手段と、高周波数領域の車輪速信号を抽出するためのバンドパスフィルタ40B、及びフィルタ処理後の車輪

速信号から振動レベルを演算する第2の振動レベル演算手段42Bからなる高周波数特性量演算手段と、低周波数特性量演算手段で演算された低周波数特性量と高周波数特性量演算手段で演算された高周波数特性量との偏差を車輪速周波数特性量として出力する特性量演算手段44とから構成されている。この特性量演算手段44出力には、第1の実施の形態の制動力勾配推定手段34に相当する路面 $\mu$ 勾配推定手段（図示せず）が接続されている。

【0055】低周波数特性量演算手段におけるバンドパスフィルタ40Aは、車輪速運動における比較的低周波数の領域の車輪速信号を透過するように透過周波数が設定されており、本実施の形態では、15～50Hzの周波数の車輪速信号が透過するように設定されている。また、高周波数特性量演算手段におけるバンドパスフィルタ40Bは、車輪速運動における比較的高周波数の領域の車輪速信号を透過するように透過周波数が設定されており、本実施の形態では30～50Hzの周波数の車輪速信号が透過するように設定されている。

【0056】振動レベル検出手段42Aは、バンドパスフィルタ透過後の車輪速信号を2乗してデシベル表現した信号を低周波数特性量として出力し、振動レベル検出手段42Bは、バンドパスフィルタ透過後の車輪速信号を2乗してデシベル表現した信号を高周波数特性量として出力する。

【0057】特性量演算手段44は、低周波数特性量と高周波数特性量との差を車輪速周波数特性量として出力する。

【0058】図3で説明したように、限界付近等の路面 $\mu$ 勾配（図3の制動力勾配と等価な値）が比較的小さい領域においては、車輪速の周波数特性は、低周波数領域のゲインは大きく、高周波数領域のゲインは小さいの



で、低周波数領域のゲインと高周波数領域のゲインとの差を表す車輪速周波数特性量は大きくなる。これに対し、定常走行等路面  $\mu$  勾配が比較的大きな領域においては、車輪速の周波数特性は低周波数のゲインが路面  $\mu$  勾配の比較的小さな領域に比較して小さくなっている。また、高周波数領域のゲインは、タイヤの回転共振の発生などの影響によって路面  $\mu$  勾配の比較的小さな領域に比較してそれほど小さくならない。この結果、車輪速周波数特性量は小さくなる。従って、低周波数領域の振動レベルと高周波数領域の振動レベルとの差を表す車輪速周波数特性量は、路面  $\mu$  勾配が大きくなるのに伴って小さくなる値であり、この特性を利用することにより車輪速周波数特性量から路面  $\mu$  勾配を推定することができる。

【0059】本実施の形態の路面  $\mu$  勾配推定手段は、車輪速周波数特性量が路面  $\mu$  勾配が大きくなるのに伴って小さくなる性質を利用して、低周波数領域の振動レベルと高周波数領域の振動レベルとの差を表す車輪速周波数特性量と路面  $\mu$  勾配との関係を示すマップを予め記憶しており、推定された車輪速周波数特性量とマップとから路面  $\mu$  勾配を推定する。

【0060】次に、本発明の第3の実施の形態を説明する。本実施の形態は、複数の周波数領域の振動レベルを車輪速周波数特性量として用い、路面  $\mu$  勾配を推定するようにしたものである。

【0061】図12に示すように、本実施の形態の車輪速周波数特性量演算手段は、複数のバンドパスフィルタ  $46_1, 46_2, \dots, 46_n$  と、バンドパスフィルタの出力端の各々に接続された複数の振動レベル演算手段  $48_1, 48_2, \dots, 48_n$  とから構成され、複数の振動レベル演算手段各々には、ニューラルネットワークから構成された路面  $\mu$  勾配推定手段50が接続されている。

【0062】車輪速周波数特性量演算手段には、第2の実施の形態で説明した特性量演算手段が接続される。本実施の形態では、バンドパスフィルタの透過周波数帯は、各々  $10 \sim 20 \text{ Hz}$ 、 $20 \sim 30 \text{ Hz}$ 、 $30 \sim 40 \text{ Hz}$ 、 $40 \sim 50 \text{ Hz}$ 、 $50 \sim 60 \text{ Hz}$  の6つの周波数帯域とした。この車輪速周波数特性量演算手段からは、複数の周波数帯域、すなわち6つの周波数帯域の各々の振動レベルが車輪速周波数特性量として出力される。本実施の形態では、バンドパスフィルタによって各周波数帯域毎の振動レベルを演算する例について説明したが、FFTによって各周波数成分を演算してもよい。

【0063】上記で説明したように、路面  $\mu$  勾配が小さい場合、車輪速の周波数帯域は低く周波数特性は低い周波数領域からゲインが落ち込む。また、路面  $\mu$  勾配が大きい場合、車輪速の帯域周波数は高く周波数成分は、高い周波数までゲインの落ち込みがない。このため、各周波数領域の振動レベルを比較することによって、路面  $\mu$  勾配の推定が可能になる。

【0064】路面  $\mu$  勾配推定手段は、車輪速周波数特性量としての各領域の振動レベルから、路面  $\mu$  勾配に応じて帯域周波数が変化することを利用し、ニューラルネットワークによって路面  $\mu$  勾配を推定する。このニューラルネットワークは、入力層、中間層、出力層の3層構造で構成されており、6つの振動レベルを入力して路面  $\mu$  勾配を3段階に推定する。ニューラルネットワークの学習は、大、中、小の3段階の路面  $\mu$  勾配における車輪速の周波数特性を用いてバックプロパゲーション手法によって行われる。これにより、ニューラルネットワークは、路面  $\mu$  勾配が大きくなるのに従って帯域周波数が大きくなる性質を学習し、各周波数帯域の振動レベルから路面  $\mu$  勾配を推定することができる。

【0065】

【発明の効果】以上説明したように請求項1の発明によれば、路面外乱から車輪速までの伝達特性の追従周波数を表す車輪速周波数特性量から路面状態を表す物理量を推定しているので、定常走行領域を含んだ低スリップ領域における路面状態を表す物理量を推定することができる、という効果が得られる。

【0066】また、請求項2の発明によれば、車輪速の時系列データに基づいて、路面外乱から車輪速までの伝達特性を低次元のモデルに近似したときの該モデルの周波数応答を表すゲイン線図における帯域周波数を推定し、推定した帯域周波数から制動力勾配を推定しているので、定常走行領域を含んだ低スリップ領域における路面状態を表す物理量を推定することができる、という効果が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態の車輪共振系の力学モデルを示すブロック図である。

【図2】スリップ速度と制動力との関係を示す線図である。

【図3】路面外乱から車輪速までの周波数応答を示すゲイン線図である。

【図4】本発明の第1の実施の形態を示すブロック図である。

【図5】本発明の第1の実施の形態の帯域周波数を推定するアルゴリズムを示す流れ図である。

【図6】1次遅れモデルの路面外乱から車輪速までの周波数応答を示すゲイン線図である。

【図7】帯域周波数と制動力勾配との関係を示す線図である。

【図8】タイヤ変位を説明するための図である。

【図9】直進制動時の制動力の推定値と真値とを比較して示す線図である。

【図10】直進制動時の制動力勾配の推定値と真値とを比較して示す線図である。

【図11】第2の実施の形態の車輪速周波数特性量推定手段を示すブロック図である。

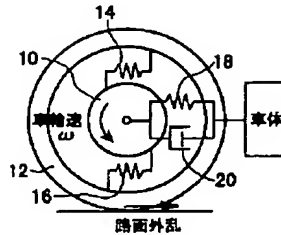


【図12】第3の実施の形態の車輪速周波数特性量推定手段を示すブロック図である。

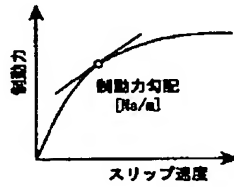
【符号の説明】

- \* 30 車輪速センサ
- 32 帯域周波数推定手段
- \* 34 制動力勾配推定手段

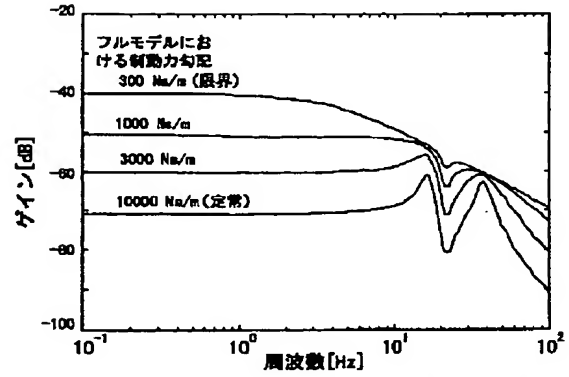
【図1】



【図2】

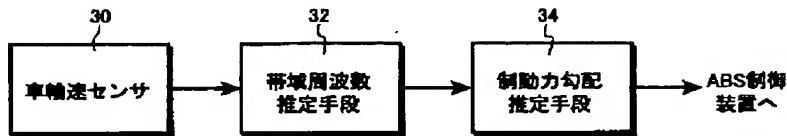


【図3】

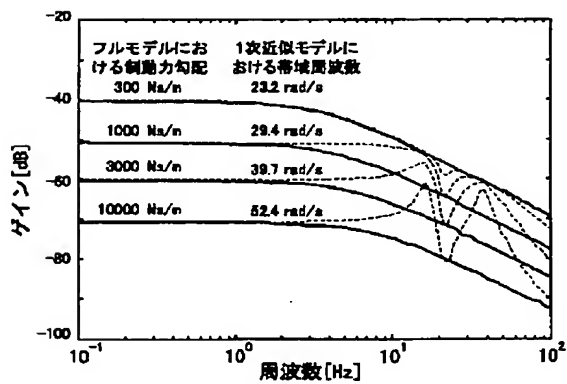


路面外乱から車輪速までの周波数応答 (制動力勾配=300~10000Ns/m)

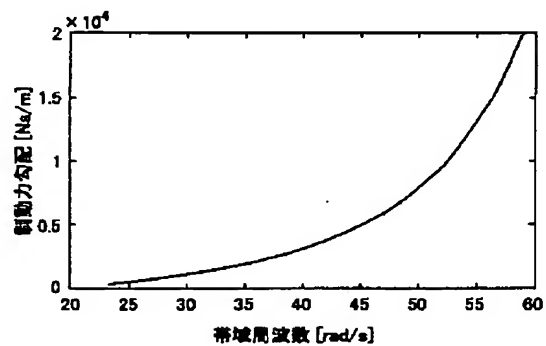
【図4】



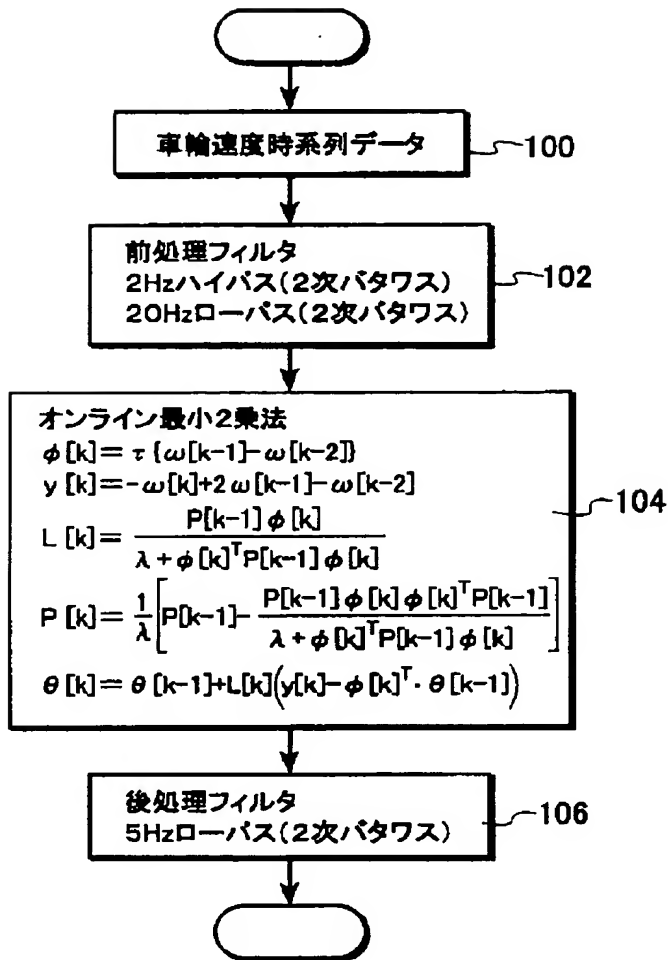
【図6】



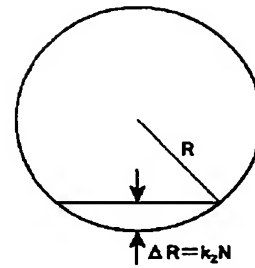
【図7】



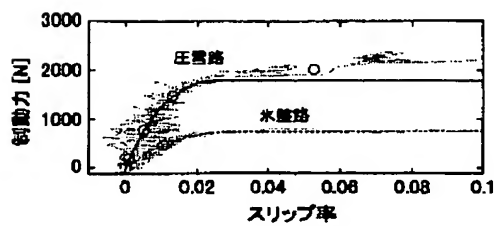
【図5】



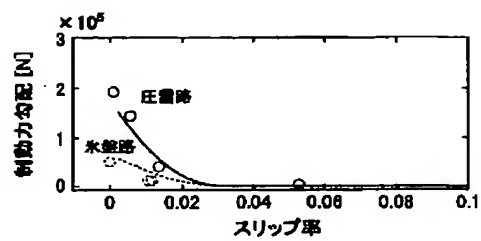
【図8】



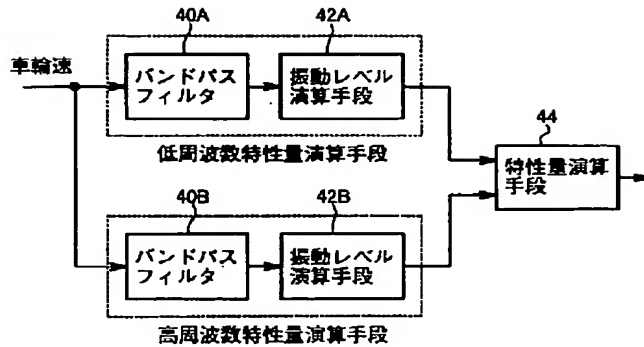
【図9】



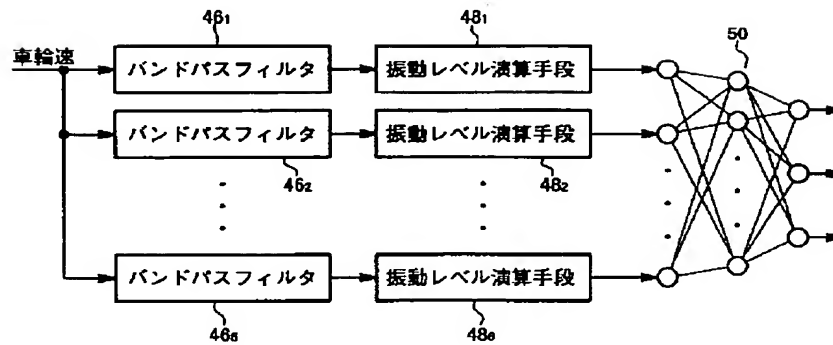
【図10】



【図11】



【図12】



フロントページの続き

(71)出願人 000004260  
株式会社デンソー  
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地  
(72)発明者 小野 英一  
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番  
地の1 株式会社豊田中央研究所内  
(72)発明者 梅野 孝治  
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番  
地の1 株式会社豊田中央研究所内  
(72)発明者 菅井 賢  
愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道41番  
地の1 株式会社豊田中央研究所内

(72)発明者 田中 亮  
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動  
車株式会社内  
(72)発明者 安井 由行  
愛知県刈谷市朝日町2丁目1番地 アイシ  
ン精機株式会社内  
(72)発明者 沢田 護  
愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 株式会  
社デンソー内  
Fターム(参考) 3D046 BB23 BB28 HH36 HH46 KK01  
KK12

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**